



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑳ Aktenzeichen: P 35 31 904.6  
㉔ Anmeldetag: 5. 9. 85  
㉕ Offenlegungstag: 27. 3. 86

DE 3531 904 A 1

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

㉑ Anmelder:

Studio S - Gesellschaft für Elektronik,  
Datenverarbeitung und Optik mbH, 1000 Berlin, DE

㉒ Erfinder:

Thieme, Reinhard, 1000 Berlin, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Lateral-Shearing-Interferometer zur Phasendifferenzmessung von zwei Wellenflächen konstanter Phase

Lateral-Shearing-Interferometer zur Phasendifferenzmessung von Wellenflächen.

Dieses Zweistrahlinterferometer dient zur Messung der Abweichung einer Prüfwellenfläche von einer ebenen Wellenfläche, sowie der Messung der Abweichung von der Kugelgestalt, bei einer schwach gekrümmten Wellenfläche. Diese Messungen dienen z. B. zur Prüfung von optischen Systemen. Dabei wird die seitliche Versetzung der Wellenflächen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung des Lichts, genannt lateral-shear, nur von Spiegeln herbeigeführt und ist von der Weglängendifferenz der Teilstrahlengänge unabhängig einstellbar. Die Weglängen der Teilstrahlengänge sind auf Null abgleichbar, Weißlichtposition, und beeinflussen nicht den lateral-shear.

DE 3531 904 A 1

Patentansprüche

1. Lateral - Shearing - Interferometer, LSI, nach dem Prinzip der Zweistrahlinterferenzen zur Phasendifferenzmessung von zwei Wellenflächen konstanter Phase, erzeugt durch einen physikalischen Strahlenteiler  $T_1$  aus der auf die teilende Fläche von  $T_1$  nicht senkrecht zulaufenden Wellenfläche, sodaß  $T_1$  die Ausbreitungsrichtung des gespiegelten Anteils A der ursprünglichen Wellenfläche ändert, den durchgelassenen Anteil B in seiner Ausbreitungsrichtung nicht ändert, und einen ebenen Spiegel  $S_1$ , der die Ausbreitungsrichtung des von  $T_1$  durchgelassenen Anteils B oder des gespiegelten Anteils A so ändert, daß die Ausbreitungsrichtungen A und B gleich und parallel sind, durch Einfügen von zwei zusätzlichen ebenen Spiegeln,  $S_3$  und  $S_4$ , welche die Ausbreitungsrichtungen von A und B so ändern, daß die Wellenflächen unter einem Winkel kleiner als  $180^\circ$  aufeinander zulaufen, sich durchdringen und von zwei weiteren ebenen Spiegeln,  $S_5$  und  $S_6$ , die Ausbreitungsrichtungen der Anteile A und B so geändert werden, daß sie wiederum gleichgerichtet und parallel sind und diese gemeinsame Ausbreitungsrichtung von A und B durch eine weitere Anordnung, bestehend aus einem ebenen Spiegel  $S_2$  und einem physikalischen Strahlenteiler  $T_2$ , die im Aufbau mit der Anordnung  $S_1$ -  $T_1$  identisch ist, so geändert wird, daß die das LSI verlassenden Teilwellenflächen konstanter Phase zueinander parallele Ausbreitungsrichtungen haben und sich in entgegengesetzter Richtung, wenn  $S_1$  die Ausbreitungsrichtung des von  $T_1$  durchgelassenen Anteils B geändert hat, oder in gleicher Richtung wenn  $S_1$  die Ausbreitungsrichtung des von  $T_1$  gespiegelten Anteils A geändert hat und für einen exakten Weißlichtabgleich zwingend notwendig parallel zu der auf  $T_1$  zulaufenden Wellenfront ausbreiten,

dadurch gekennzeichnet, daß einer der zusätzlichen ebenen Spiegel für den Anteil A, die die Wellenflächen aufeinander zulaufen lassen mit einem der zusätzlichen ebenen Spiegel für den Anteil B, die die Ausbreitungsrichtung der Wellenflächen wieder parallel richten auf einer ersten gemeinsamen Basis und der andere von den zusätzlichen ebenen Spiegeln für den Anteil B, die die Wellenflächen aufeinander zulaufen lassen, mit dem anderen von den zusätzlichen ebenen Spiegeln für den Anteil A, die die Ausbreitungsrichtung der Wellenflächen wieder parallel richten, auf einer zweiten gemeinsamen Basis montiert ist und jede Basis sich auf einem Kreuztisch befindet, der aus einer ersten Längsführung, die parallel zu der Ausbreitungsrichtung hinter  $S_1$  und  $T_1$  in Lichtrichtung beweglich ist, um die Weglängendifferenz der Teilstrahlengänge innerhalb des LSI's einzustellen ohne den lateral - shear zu ändern und aus einer zweiten Längsführung die senkrecht zu der Ausbreitungsrichtung hinter  $S_1$  und  $T_1$  in Lichtrichtung beweglich ist, um die gegenseitige Versetzung senkrecht zur Ausbreitungsrichtung, genannt lateral - shear, am Ausgang des LSI's hinter  $T_2$  in Lichtrichtung ohne Änderung der Weglängendifferenz der Teilstrahlengänge einzustellen.

2. LSI nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die spiegelnden Flächen der zusätzlichen ebenen Spiegel, für den Anteil A, parallel sind und ebenso die spiegelnden Flächen der zusätzlichen ebenen Spiegel, für den Anteil B, parallel sind.

3. LSI nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß sich die zusätzlichen ebenen Spiegel, die auf der ersten Basis montiert sind und/oder die Spiegel, die auf der zweiten Basis montiert sind, durch ein einzelnes Prisma, dessen Dachflächen verspiegelt sind und die Funktion der Einzelspiegel übernehmen, ersetzen lassen.

BeschreibungLateral-Shearing-Interferometer zur Phasendifferenz-  
5 messung von zwei Wellenflächen konstanter Phase

Die Erfindung betrifft ein Lateral-Shearing-Interferometer, LSI, nach dem Prinzip der Zweistrahlinterferenz bei dem die seitliche Versetzung, lateral-shear, und  
10 die Phasendifferenz der das Interferometer verlassenden Wellenflächen unabhängig voneinander einstellbar sind. Ein derartiges Interferometer ist zur Prüfung von ebenen oder schwach gekrümmten Wellenflächen konstanter Phase, z.B. des sichtbaren Bereichs der elektromagnetischen  
15 Strahlung verwendbar. Die Ebenheit solcher Wellenflächen bzw. die Abweichung von der Kugelgestalt bei schwach gekrümmten Wellenflächen ist ein Gütemaß für die Abbildungsleistung, z.B. von Photoobjektiven oder Mikroobjektiven. Ein solcher Prüfling steht bei diesem LSI in Licht-  
20 richtung vor dem Interferometer und wird von einem punktförmigen Objekt beleuchtet.

Bisher bekannte Interferometer sind :

- 25 Das Twyman-Green-Interferometer, TGI, basierend auf dem Michelson-Interferometer, MI, wobei der Prüfling sich in dem einen Arm des Interferometers befindet und vom Licht zweimal durchsetzt wird, s. Pr. of Opt., S. 302.
- 30 Die verschiedenen Varianten des Mach-Zehnder-Interferometers, MZI, so die Interferometer nach Bates, siehe Max Born & Emil Wolf, Principles of Optics, Sixth Edition, Pergamon Press, Frankfurt, chapter 7.5, page 315, und Drew, siehe Mütze, Foitzik, Krug und Schreiber,  
35 ABC der Optik, erste Auflage, Verlag Werner Dausien, 1972 Hanau/Main, Seite 608.

Die beiden Prototypen MI und MZI sind auf Weißlicht abgleichbar, d.h. die Weglängendifferenz innerhalb der beiden Teilstrahlengänge kann zu Null gemacht werden. Für guten Kontrast des Interferenzmusters ist dieser

5 Abgleich notwendig. Baut man ein solches Gerät zu einem Meßinterferometer aus, so werden abweichend vom Prototyp zusätzliche Elemente in den Strahlengang innerhalb des Interferometers, z.B. der Prüfling selbst beim TGI oder Kompensationsplatten beim Interferometer nach Bates

10 eingefügt. Bei dem Interferometer nach Drew werden abweichend von der Grundstellung Asymmetrien der beiden Teilstrahlengänge eingeführt. Die Meßgröße ist in allen Fällen die Phasendifferenz zwischen zwei Wellenflächen. Es kommt nun darauf an, ob die, die Verstellung verursachenden, oder in den Strahlengang eingefügten Elemente

15 ihre Wirkung auf dem Brechungs- oder Reflektionsgesetz aufbauen. Dreht man z.B. eine Planparallelplatte innerhalb eines Teilstrahlengangs im Interferometer, so versetzt sie nicht nur den Strahl, sondern ändert auch den optischen Weg und zwar aufgrund der Wellenlängenabhängigkeit

20 des Brechungsgesetzes unterschiedlich für verschiedene Wellenlängen. Ein solcher Aufbau erfordert im anderen Teilstrahlengang meistens ein Kompensationselement, ähnlich der Kompensationsplatte beim Michelson-Interferometer, zur Erhaltung des Weißlichtabgleichs. Beim TGI z.B., ist für

25 exakten Weißlichtabgleich ein zweites Objektiv gleich dem Prüfling erforderlich. Weiterhin muß meistens diese Weißlichtposition für jede Meßverstellung neu gefunden werden. Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, diese Problematik zu umgehen.

30 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Meßverstellungen nur von den zusätzlichen ebenen Spiegeln durchgeführt werden und daß die bei einem Zweistrahlinterferometer zur Teilung und Zusammenführung der Strahlengänge

35 zwingend notwendigen Planparallelplatten von den Teilwellen in derselben Hauptstrahlrichtung durchsetzt werden.

- Dabei ist darauf geachtet worden, daß der zum Eingang des Interferometers symmetrische Ausgang benutzt wird, sodaß von den Strahlenteilern  $T_1$  und  $T_2$  jede der Teilwellen nur einmal durchgelassen und einmal gespiegelt wird. Außerdem sind lateral-shear und Weglängenabgleich der Teilstrahlengänge bei diesem Zweistrahlint interferometer unabhängig voneinander einstellbar, sodaß bei verschiedenen Meßeinstellungen des lateral-shear der Weißlichtabgleich erhalten bleibt.
- Die bei dieser Erfindung erzielten Vorteile bestehen vor allem darin, daß bei dem einmal auf Weißlicht abgeglichenen Interferometer und unabhängig davon einstellbarem lateral-shear zur Prüfung von Objektiven nur die Filter im Beleuchtungsstrahlengang für die verschiedenen Prüfwellenlängen gewechselt werden müssen, sodaß die Interferenzfiguren in der Beobachtungsebene zur Beurteilung der Abbildungsleistung des Prüflings für diese Wellenlängen ohne Umjustierung vergleichbar sind.
- Das Schema des Abbildungsstrahlenganges des LSI in Grundstellung, lateral-shear und Phasendifferenz identisch Null, ist in den Abbildungen 1a und 1b dargestellt. Aufgrund der besseren Übersicht ist nur der Hauptstrahl gezeichnet. Den Pfeilen senkrecht zum Hauptstrahl entsprechen die Drehungen der Wellenfronten durch die verschiedenen Spiegelungen. Am Interferometerausgang haben die Wellenfronten gleiche Orientierung. B1 stellt das punktförmige Objekt für den Prüfling Pr dar. Die Beobachtungsebene B ist ein Bild der Austrittspupille des Prüflings.
- Weiterhin wurden die zusätzlichen ebenen Spiegel  $S_4$  und  $S_6$  durch das Spiegelprisma P in Abbildung 1b ersetzt. In Abbildung 2 ist ein lateral-shear gegenüber der gestrichelten Grundstellung, Bild 1b, gezeichnet. In Bild 3 wird die Einstellung der Weglängendifferenz gegenüber der Grundstellung aus Bild 1b aufgezeigt.

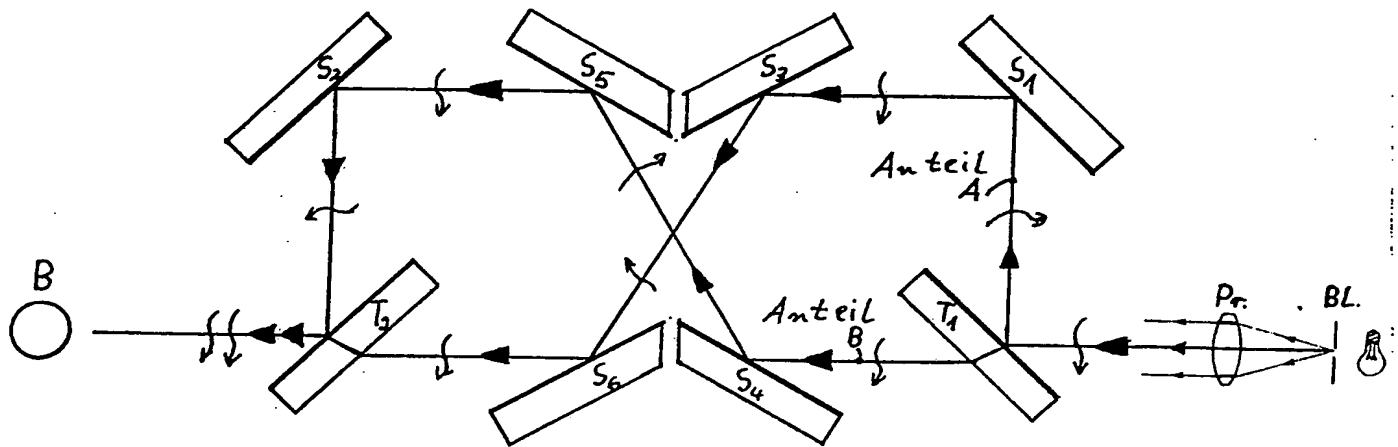


Bild 1a : Lateral-Shearing-Interferometer in Grundstellung

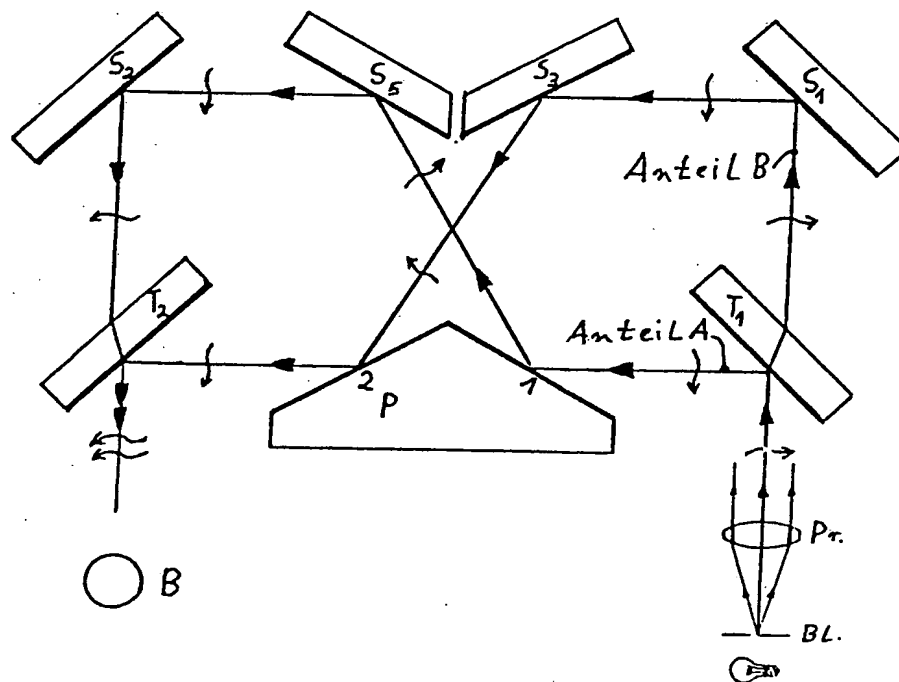


Bild 1b : LSI in Grundstellung mit punktförmigem Objekt  $B_1$ , Prüfling  $Pr$ , Spiegelprisma  $P$  und Beobachtungsebene  $B$

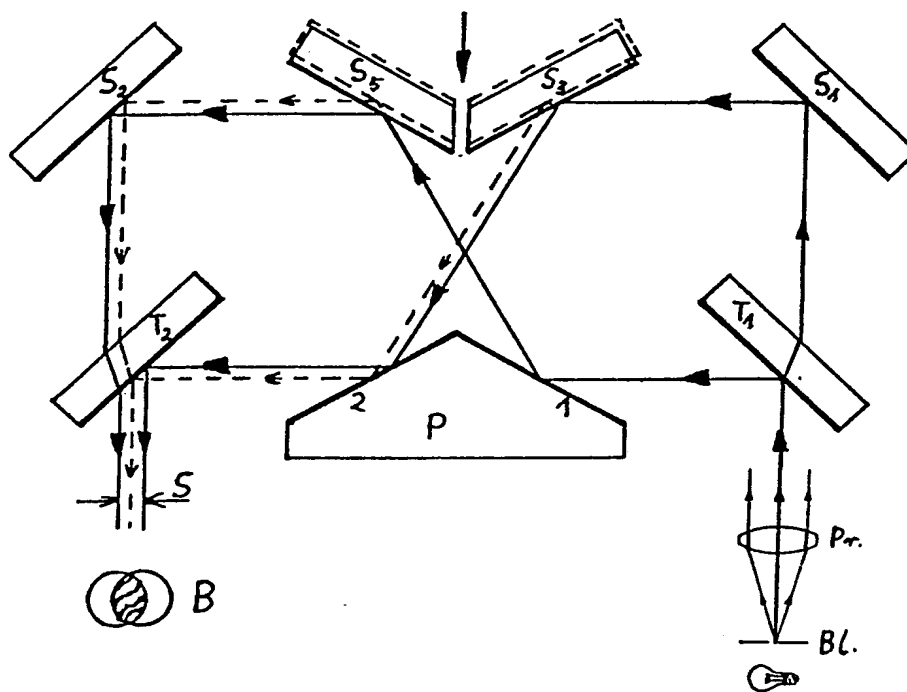


Bild 2 : Einstellung des lateral-shear  $S$ , Grundstellung gestrichelt gezeichnet.

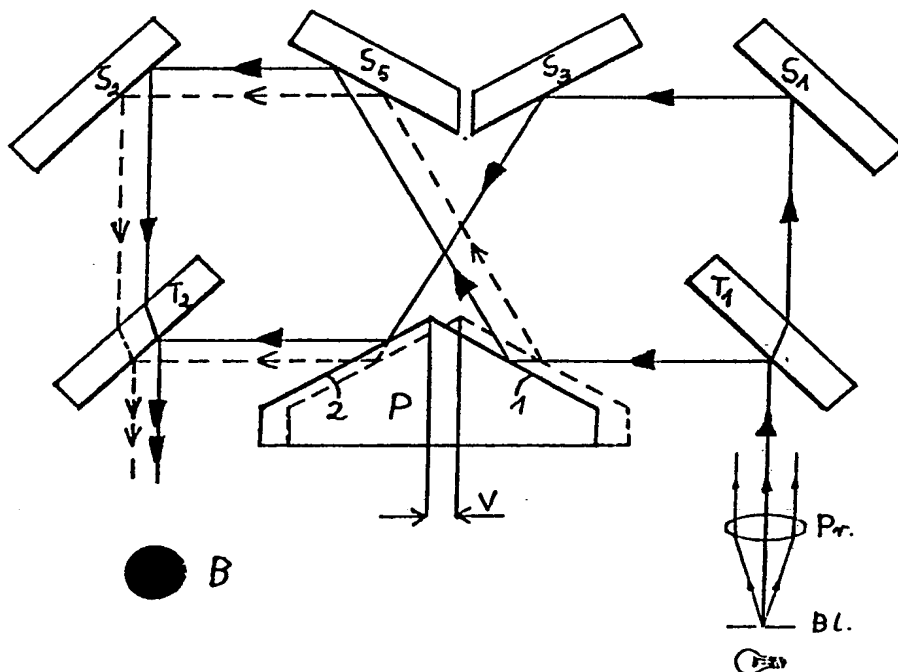


Bild 3 : Einstellung der Weglängendifferenz.